

# SURFACE POSITION DETECTION DEVICE, EXPOSURE METHOD AND METHOD FOR MANUFACTURING DEVICE

**Publication number:** JP2004301825

**Publication date:** 2004-10-28

**Inventor:** HIDAKA YASUHIRO; MIZUTANI HIDEO; UMAGOME NOBUTAKA; YAMATO SOICHI

**Applicant:** NIPPON KOGAKU KK

**Classification:**

- international: **G01B11/00; G03F7/20; G03F7/207; H01L21/027; G01B11/00; G03F7/20; G03F7/207; H01L21/02; (IPC1-7): G01B11/00; G03F7/207; H01L21/027**

- European: G03F7/20T16

**Application number:** JP20030412586 20031210

**Priority number(s):** JP20030412586 20031210; JP20020357955 20021210; JP20030072485 20030317

*Report a data error here*

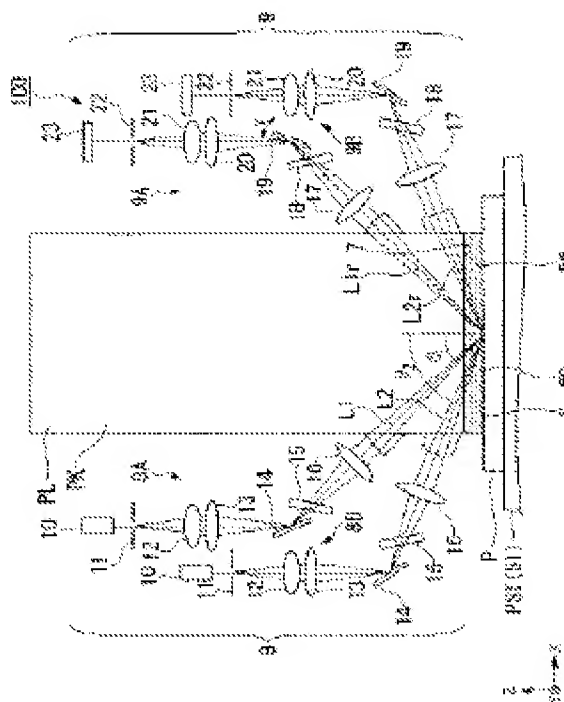
## Abstract of JP2004301825

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a surface position detection device that can precisely detect surface position information of a surface to be detected even when a refractive index of a detection light for surface position detection on an optical path changes.

**SOLUTION:** The surface position detection device 100 is provided with a light projection system 8 to project detection light onto a surface S to be detected and a light receiving system 9 to receive light reflected on the surface S, and it detects a surface position information of the surface S on the basis of information acquired by the light receiving system 9. A plurality of beams of light L1 and L2 are projected as detection light light onto the surface S at incident angles  $[\theta_1]$  and  $[\theta_2]$  respectively.

Even if the refractive index of a medium on the surface S changes due to temperature change, the surface position information can be corrected based on the beams of reflection light of the lights L1 and L2. The surface position detector 100 is useful for an immersion aligner.

COPYRIGHT: (C)2005,JPO&NCIPI





## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

検出光を被検面に投射するとともに、その被検面からの反射光を受光することによって得られる情報に基づいて、被検面の面位置を検出する面位置検出装置であって、

検出光として、複数の光を異なる入射角で被検面に投射する送光系と；

被検面からの反射光を受光する受光系と；を備える面位置検出装置。

## 【請求項2】

検出光を被検面に投射するとともに、その被検面からの反射光を受光することによって得られる情報に基づいて、被検面の面位置を検出する面位置検出装置であって；

検出光として、波長の異なる複数の光を被検面に投射する送光系と；

被検面からの反射光を受光する受光系と；を備える面位置検出装置。

## 【請求項3】

前記検出光は、光透過部材を介して前記被検面に投射される請求項1または2に記載の面位置検出装置。

## 【請求項4】

前記検出光は、液体を介して前記被検面に投射される請求項3に記載の面位置検出装置。

## 【請求項5】

前記検出光は、液体を介して前記被検面に投射される請求項1または2に記載の面位置検出装置。

## 【請求項6】

マスクのパターンを投影光学系を介して基板上に投影して前記基板を露光する露光装置に搭載され、前記投影光学系の像面と前記基板表面との位置関係を制御するために前記被検面としての前記基板表面に前記検出光を投射して前記基板表面の面位置情報を検出する請求項1～5のいずれか一項記載の面位置検出装置。

## 【請求項7】

マスクのパターンの像を投影光学系により基板上に投影して、基板を露光する露光方法であって；

基板表面に複数の検出光を異なる入射角で投射するとともに、基板表面からの反射光を受光することによって、検出光及び反射光の光路の屈折率情報を検出することと；

マスクのパターンの像を投影光学系により基板上に投影することと；を含む露光方法。

## 【請求項8】

前記複数の検出光の入射角 $\theta$ はそれぞれ $30^\circ \leq \theta < 90^\circ$ の条件を満たす請求項7に記載の露光方法。

## 【請求項9】

前記複数の検出光の入射角 $\theta$ はそれぞれ $70^\circ \leq \theta < 90^\circ$ の条件を満たす請求項8に記載の露光方法。

## 【請求項10】

マスクのパターンの像を投影光学系により基板上に投影して、基板を露光する露光方法であって；

基板表面に波長の異なる複数の検出光を投射するとともに、基板表面からの反射光を受光することによって、検出光及び反射光の光路の屈折率情報を検出することと；

マスクのパターンの像を投影光学系を介して基板上に投影することと；を含む露光方法。

## 【請求項11】

前記基板からの反射光を波長毎に検出する請求項10に記載の露光方法。

## 【請求項12】

前記屈折率情報は前記光路の温度変化を含む請求項7～11のいずれか一項記載の露光方法。

## 【請求項13】

前記検出光は、前記投影光学系の一部の光学素子を介して前記基板表面に投射される請

請求項7～12のいずれか一項記載の露光方法。

【請求項14】

前記屈折率情報に基づいて、前記投影光学系の像面と前記基板表面との位置関係を調整する請求項7～13のいずれか一項記載の露光方法。

【請求項15】

前記複数の検出光のうちの少なくとも1つで前記基板表面の面位置を検出し、前記複数の検出光を使って得られる屈折率情報に基づいて前記検出された面位置を補正する請求項14に記載の露光方法。

【請求項16】

前記投影光学系と前記基板表面との間には液体が存在し、前記屈折率情報は前記液体の屈折率情報を含む請求項7～15のいずれか一項記載の露光方法。

【請求項17】

前記液体は水である請求項16に記載の露光方法。

【請求項18】

前記反射光を受光することによって前記液体の屈折率変化を検出し、該液体の屈折率変化によって前記パターンの像に誤差が生じないように像調整を行う請求項16又は17に記載の露光方法。

【請求項19】

投影光学系により液体を介してパターンの像を基板上に投影して、基板を液浸露光する露光方法であって：

投影光学系と基板との間の少なくとも一部を液体で満たすことと；

投影光学系と基板との間の液体の温度情報を光学的に検出することと；

投影光学系により液体を介してパターンの像を基板上に投影すること；とを含む露光方法。

【請求項20】

前記液体を介して前記基板表面に検出光を投射するとともに、前記基板表面からの反射光を前記液体を介して受光することによって、前記液体の温度情報を検出する請求項19に記載の露光方法。

【請求項21】

前記反射光を受光することによって前記基板表面の面位置情報を検出する請求項19又は20に記載の露光方法。

【請求項22】

前記温度情報に基づいて、前記基板上に投影されるパターンの像の結像状態を調整する請求項19～21に記載の露光方法。

【請求項23】

前記温度情報に基づいて、前記投影光学系と前記基板との間に供給される液体の温度を制御する請求項19～22に記載の露光方法。

【請求項24】

前記受光した反射光から液体の屈折率の変化を求め、屈折率の変化に基づいて液体の温度変化を求める請求項20に記載の露光方法。

【請求項25】

請求項7～請求項24のいずれか一項記載の露光方法を用いるデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、被検面の面位置情報を光学的に検出する面位置検出装置、マスクのパターンの像を基板上に露光する露光方法、及びデバイス製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスや液晶表示デバイスは、マスク上に形成されたパターンを感光性の基板

上に転写する、いわゆるフォトリソグラフィの手法により製造される。このフォトリソグラフィ工程で使用される露光装置は、マスクを支持するマスクステージと基板を支持する基板ステージとを有し、マスクステージ及び基板ステージを逐次移動しながらマスクのパターンを投影光学系を介して基板に転写するものである。露光装置には、投影光学系の像面に対して基板表面を合わせ込むために、基板表面の面位置情報を検出するオートフォーカス検出系が設けられている。オートフォーカス検出系（AF検出系）には、例えば特開平6-66543号公報に開示されているような斜入射方式がある。これは、基板表面に対して斜め方向からフォーカス用検出光を照射し、基板表面での反射光により基板表面の位置情報を検出するものである。斜入射方式のAF検出系では、図10(a)の模式図に示すように、被検面である基板Pの表面が例えば符号P'のように上下方向に移動すると、照射したAF用検出光Lの基板表面での反射光がAF検出系を構成する光学系の光軸と垂直方向にずれるので、このずれ量 $\Delta a$ を検出することで基板表面の投影光学系の光軸方向における面位置情報を検出することができる。

【0003】

ところで、デバイスパターンのより一層の高集積化に対応するために投影光学系の更なる高解像度化が望まれている。投影光学系の解像度は、使用する露光波長が短くなるほど、また投影光学系の開口数が多いほど高くなる。そのため、露光装置で使用する露光波長は年々短波長化しており、投影光学系の開口数も増大している。そして、現在主流の露光波長は、KrFエキシマレーザの248nmであるが、更に短波長のArFエキシマレーザの193nmも実用化されつつある。また、露光を行う際には、解像度と同様に焦点深度(DOF)も重要となる。解像度R、及び焦点深度 $\delta$ はそれぞれ以下の式で表される。

$$R = k_1 \cdot \lambda / NA \quad \dots (1)$$

$$\delta = \pm k_2 \cdot \lambda / NA^2 \quad \dots (2)$$

ここで、 $\lambda$ は露光波長、NAは投影光学系の開口数、 $k_1$ 、 $k_2$ はプロセス係数である。(1)式、(2)式より、解像度Rを高めるために、露光波長 $\lambda$ を短くして、開口数NAを大きくすると、焦点深度 $\delta$ が狭くなることが分かる。

【0004】

焦点深度 $\delta$ が狭くなり過ぎると、投影光学系の像面に対して基板表面を合致させることが困難となり、露光動作時のフォーカスマージンが不足する恐れがある。そこで、実質的に露光波長を短くして、且つ焦点深度を広くする方法として、例えば国際公開第99/49504号公報に開示されている液浸法が提案されている。この液浸法は、投影光学系の下面と基板表面との間を水や有機溶媒等の液体で満たし、液体中での露光光の波長が、空気中の $1/n$  ( $n$ は液体の屈折率で通常1.2~1.6程度)になることを利用して解像度を向上するとともに、焦点深度を約 $n$ 倍に拡大するというものである。

【特許文献1】特開平6-66543号公報

【特許文献2】国際公開第99/49504号パンフレット

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、投影光学系の下面と基板表面との間に液体を満たした状態において上述したような斜入射方式のAF検出系で基板表面の面位置情報を求めようとする場合、例えば温度変化等に起因して液体の屈折率が変化すると、図10(b)の模式図に示すように、屈折率変化前では基板Pの表面に対する検出光Lの入射角が $\theta$ であったものが、屈折率変化後では $\theta'$ のように変化するという不都合が生じる。入射角が変化すると検出光L及び基板Pでの反射光の光路は屈折率変化前の光路に対してずれるため、基板表面の位置が変化していないにもかかわらず、AF検出系の受光面に入射する検出光L(基板表面での反射光)の位置がずれてしまい、AF検出系は、基板の位置が変動したと誤った判断をしてしまうことになる。この結果、基板表面の面位置を精度良く測定することができなくなるおそれがある。

## 【0006】

本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであって、AF検出系の検出光の光路上の屈折率が変化しても基板表面の面位置情報を精度良く検出できる面位置検出装置を提供することを第1の目的とする。また、AF検出系の検出光の光路上の屈折率が変化しても精度良く基板面位置情報を検出してデバイスを製造できる露光方法及びデバイス製造方法を提供することを第2の目的とする。また、投影光学系と基板との間の液体を介してパターン像を基板上に投影する液浸露光法を用いても、パターン像を精度よく基板上に形成することのできる露光方法の提供を第3の目的とする。特にその液体の温度が変化した場合にも、パターン像を精度よく基板上に形成することのできる露光方法の提供を第4の目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0007】

上記の課題を解決するため、本発明は実施の形態に示す図1～図9に対応付けした以下の構成を採用している。但し、各要素に付した括弧付き符号はその要素の例示に過ぎず、各要素を限定する意図は無い。

## 【0008】

本発明の第1の態様に従えば、検出光を被検面(S)に投射するとともに、その被検面(S)からの反射光を受光することによって得られる情報に基づいて、被検面(S)の面位置を検出する面位置検出装置であって、検出光として、複数の光(L1、L2)を異なる入射角( $\theta_1$ 、 $\theta_2$ )で被検面(S)に投射する送光系(8)と；被検面(S)からの反射光を受光する受光系(9)と；を備える面位置検出装置(100)が提供される。

## 【0009】

また、本発明の第2の態様に従えば、マスク(M)のパターンの像を投影光学系(PL)により基板(P)上に投影して、基板(P)を露光する露光方法であって：基板表面(S)に複数の検出光(L1、L2)を異なる入射角( $\theta_1$ 、 $\theta_2$ )で投射するとともに、基板表面(S)からの反射光(L1r、L2r)を受光することによって、検出光(L1、L2)及び反射光(L1r、L2r)の光路の屈折率情報を検出することと；マスク(M)のパターンの像を投影光学系(PL)により基板(P)上に投影すること；を含む露光方法が提供される。

## 【0010】

本発明によれば、検出光の光路上の屈折率が変化しても、検出光として複数の光を異なる入射角で被検面に投射することにより、これら各検出光に基づく面位置情報のそれぞれは互いに異なる測定誤差(誤差量)を示すので、これら誤差量の違い(差)に基づいて光路上の屈折率変化量を求めることができる。そして、求めた屈折率情報である屈折率変化量に基づいて検出した面位置情報を補正することができるので、被検面の面位置情報を精度良く求めることができる。なお、複数の光を異なる入射角で被検面に投射するには、例えば、複数の光源及び光学系を用いてもよい。あるいは、波長可変レーザや複数の波長を有する光源を、波長選択フィルタ、エタロン、分光器、プリズムなどとともに用いて、被検面への入射角が異なるように光の波長の毎に光路を変更してもよい。あるいは、瞳分割板やガルバノミラーを用いて光路を分割または偏向してもよい。

## 【0011】

本発明の第3の態様に従えば、検出光を被検面(S)に投射するとともに、その被検面(S)からの反射光を受光することによって得られる情報に基づいて、被検面(S)の面位置を検出する面位置検出装置であって：検出光として、波長の異なる複数の光を被検面(S)に投射する送光系(8)と；被検面(S)からの反射光を受光する受光系(9)と；を備える面位置検出装置(100)が提供される。

## 【0012】

また、本発明の第4の態様に従えば、マスク(M)のパターンの像を投影光学系(PL)により基板(P)上に投影して、基板(P)を露光する露光方法であって：基板表面(S)に波長の異なる複数の検出光を投射するとともに、基板表面(S)からの反射光を受

光することによって、検出光及び反射光の光路の屈折率情報を検出することと；マスク（M）のパターンの像を投影光学系（PL）を介して基板（P）上に投影することと；を含む露光方法が提供される。

【0013】

本発明によれば、互いに異なる波長を有する光を物体に入射した際の屈折角のそれぞれは異なる値を示すことを利用し、波長の異なる複数の検出光を投射することで、被検面に対して互いに異なる入射角で検出光を照射できる。

【0014】

この場合において、検出光は、光透過部材を介して被検面に投射されることを特徴とする。光透過部材としては、投影光学系を構成する光学素子、投影光学系と被検面との間に配置される光透過性を有する平行平板が挙げられる。特に、液浸法による露光処理を行う場合にも、液体を介して高精度な基板表面の面位置検出を実現できるので、高解像度でパターン転写を行うことができる。

【0015】

また、本発明の第5の態様に従えば、投影光学系（PL）により液体（50）を介してパターンの像を基板（P）上に投影して、基板（P）を液浸露光する露光方法であって：投影光学系（PL）と基板（P）との間の少なくとも一部を液体（50）で満たすことと；投影光学系（PL）と基板（P）との間の液体（50）の温度情報を光学的に検出することと；投影光学系（PL）により液体（50）を介してパターンを基板（P）上に投影することを含む露光方法が提供される。

【0016】

本発明によれば、投影光学系と基板との間の液体の温度情報（温度変化）を検出することによって、その液体を介して行われる基板表面の面位置の検出やその液体を介して形成されるパターン像への影響を把握することができ、例えばその検出された温度情報に基づいて像調整を行うこともできる。

【発明の効果】

【0017】

検出光の光路上の屈折率が変化しても、検出光として複数の光を異なる入射角で被検面に投射することにより、これら各検出光に基づく面位置情報のそれぞれは互いに異なる測定誤差を示すので、これら測定誤差の差に基づいて光路上の屈折率情報を求めることができる。したがって、求めた屈折率情報で検出した面位置情報を補正することができるので、被検面の面位置情報を精度良く求めることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

以下、本発明の面位置検出装置及び露光方法について図面を参照しながら説明するが、本発明はこれに限定されない。図1は本発明の面位置検出装置としてのオートフォーカス検出装置が搭載された露光装置の一実施形態を示す概略構成図である。

【0019】

図1において、露光装置EXは、マスクMを支持するマスクステージMSTと、基板Pを支持する基板ステージPSTと、マスクステージMSTに支持されているマスクMを露光光ELで照明する照明光学系ILと、露光光ELで照明されたマスクMのパターンの像を基板ステージPSTに支持されている基板Pに投影露光する投影光学系PLと、被検面としての基板Pの表面Sの面位置情報を検出する面位置検出装置としてのオートフォーカス検出装置100と、露光装置EX全体の動作を統括制御する制御装置CONTとを備えている。

【0020】

ここで、本実施形態では、露光装置EXとしてマスクMと基板Pとを走査方向における互いに異なる向き（逆方向）に同期移動しつつマスクMに形成されたパターンを基板Pに露光する走査型露光装置（所謂スキャニングステッパ）を使用する場合を例にして説明する。以下の説明において、投影光学系PLの光軸AXと一致する方向をZ軸方向、Z軸方

向に垂直な平面内でマスクMと基板Pとの同期移動方向（走査方向）をX軸方向、Z軸方向及びY軸方向に垂直な方向（非走査方向）をY軸方向とする。また、X軸、Y軸、及びZ軸まわり方向をそれぞれ、 $\theta X$ 、 $\theta Y$ 、及び $\theta Z$ 方向とする。なお、ここでいう「基板」は半導体ウエハ上にレジストを塗布したものを含み、「マスク」は基板上に縮小投影されるデバイスパターンを形成されたレチクルを含む。

【0021】

照明光学系ILは、マスクステージMSTに支持されているマスクMを露光光ELで照明するものであり、露光用光源、露光用光源から射出された光束の照度を均一化するオプティカルインテグレータ、オプティカルインテグレータからの露光光ELを集光するコンデンサレンズ、リレーレンズ系、露光光ELによるマスクM上の照明領域をスリット状に設定する可変視野絞り等を有している。マスクM上の所定の照明領域は照明光学系ILにより均一な照度分布の露光光ELで照明される。照明光学系ILから射出される露光光ELとしては、例えば水銀ランプから射出される紫外域の輝線（g線、h線、i線）及びKrFエキシマレーザ光（波長248nm）等の遠紫外光（DUV光）や、ArFエキシマレーザ光（波長193nm）及びF<sub>2</sub>レーザ光（波長157nm）等の真空紫外光（VUV光）などが用いられる。本実施形態においては、ArFエキシマレーザ光を用いる。

【0022】

マスクステージMSTは、マスクMを支持するものであって、投影光学系PLの光軸AXに垂直な平面内、すなわちXY平面内で2次元移動可能及び $\theta Z$ 方向に微小回転可能である。マスクステージMSTはリニアモータ等のマスクステージ駆動装置MSTDにより駆動される。マスクステージ駆動装置MSTDは制御装置CONTにより制御される。マスクステージMST上のマスクMの2次元方向の位置、及び回転角はレーザ干渉計によりリアルタイムで計測され、計測結果は制御装置CONTに出力される。制御装置CONTはレーザ干渉計の計測結果に基づいてマスクステージ駆動装置MSTDを駆動することでマスクステージMSTに支持されているマスクMの位置決めを行う。

【0023】

投影光学系PLは、マスクMのパターンを所定の投影倍率 $\beta$ で基板Pに投影露光するものであって、複数の光学素子（レンズ）で構成されており、これら光学素子は金属部材としての鏡筒PKで支持されている。本実施形態において、投影光学系PLは、投影倍率 $\beta$ が例えば1/4あるいは1/5の縮小系である。なお、投影光学系PLは等倍系及び拡大系のいずれでもよい。また、投影光学系PLは光学特性（結像特性）の補正を行う結像特性調整装置PLCを有している。この結像特性調整装置PLCは、例えば投影光学系PLを構成する一部のレンズ群の間隔調整機構や一部のレンズ群のレンズ室内の気体圧力調整機構を有しており、これら調整を行うことにより、投影光学系PLの投影倍率、歪曲収差等の光学特性の補正を行う。結像特性調整装置PLCは制御装置CONTにより制御される。

【0024】

基板ステージPSTは、基板Pを支持するものであって、基板Pを基板ホルダを介して保持するZステージ51と、Zステージ51を支持するXYステージ52と、XYステージ52を支持するベース53とを備えている。基板ステージPSTはリニアモータ等の基板ステージ駆動装置PSTDにより駆動される。基板ステージ駆動装置PSTDは制御装置CONTにより制御される。Zステージ51を駆動することにより、Zステージ51に保持されている基板PのZ軸方向における位置（フォーカス位置）、及び $\theta X$ 、 $\theta Y$ 方向における位置が制御される。また、XYステージ52を駆動することにより、基板PのXY方向における位置（投影光学系PLの像面と実質的に平行な方向の位置）が制御される。すなわち、Zステージ51は、基板Pのフォーカス位置及び傾斜角を制御して基板Pの表面をオートフォーカス方式、及びオートレベリング方式で投影光学系PLの像面に合わせ込み、XYステージ52は基板PのX軸方向及びY軸方向における位置決めを行う。なお、ZステージとXYステージとを一体的に設けてよいことは言うまでもない。

【0025】



基板ステージPST（Zステージ51）上には、基板ステージPSTとともに投影光学系PLに対して移動する移動鏡54が設けられている。また、移動鏡54に対向する位置にはレーザ干渉計55が設けられている。基板ステージPST上の基板Pの2次元方向の位置、及び回転角はレーザ干渉計55によりリアルタイムで計測され、計測結果は制御装置CONTに出力される。制御装置CONTはレーザ干渉計55の計測結果に基づいて基板ステージ駆動装置PSTDを駆動することで基板ステージPSTに支持されている基板Pの位置決めを行う。

【0026】

本実施形態では、露光波長を実質的に短くして解像度を向上するとともに、焦点深度を実質的に広くするために、液浸法を適用する。そのため、少なくともマスクMのパターンの像を基板P上に転写（投影）している間は、基板Pの表面と投影光学系PLの基板P側の光学素子の先端面（下面）7との間に所定の液体50が満たされる。本実施形態において、液体50には純水が用いられる。純水は、ArFエキシマレーザ光のみならず、露光光ELを例えば水銀ランプから射出される紫外域の輝線（g線、h線、i線）及びKrFエキシマレーザ光（波長248nm）等の遠紫外光（DUV光）とした場合、この露光光ELを透過可能である。また、投影光学系PLの先端面7には露光光ELを透過可能な平行平板が設けられている。この平行平板は投影光学系PLの一部を構成する。

【0027】

露光装置EXは、投影光学系PLの先端面7と基板Pとの間の空間56に所定の液体50を供給する液体供給装置1と、空間56の液体50を回収する液体回収装置2とを備えている。液体供給装置1は、液体50を収容するタンク、加圧ポンプ、及び空間56に対して供給する液体50を所定の温度に調整する温度調整装置などを備えている。液体供給装置1には供給管3の一端部が接続され、供給管3の他端部には供給ノズル4が接続されている。液体供給装置1は供給管3及び供給ノズル4を介して空間56に液体50を供給する。ここで、液体供給装置1に設けられている温度調整装置は、空間56に供給する液体50の温度を、例えば露光装置EXが収容されているチャンバ内の温度と同程度に設定する。

【0028】

液体回収装置2は、吸引ポンプ、回収した液体50を収容するタンクなどを備えている。液体回収装置2には回収管6の一端部が接続され、回収管6の他端部には回収ノズル5が接続されている。液体回収装置2は回収ノズル5及び回収管6を介して空間56の液体50を回収する。空間56に液体50を満たす際、制御装置CONTは液体供給装置1を駆動し、供給管3及び供給ノズル4を介して空間56に対して単位時間当たり所定量の液体50を供給するとともに、液体回収装置2を駆動し、回収ノズル5及び回収管6を介して単位時間当たり所定量の液体50を空間56より回収する。これにより、投影光学系PLの先端面7と基板Pとの間の空間56に所定量の液体50が配置される。

【0029】

次に、基板Pの表面SのZ軸方向における位置（フォーカス位置）を検出する面位置検出装置としてのオートフォーカス検出装置100について説明する。

【0030】

オートフォーカス検出装置（AF検出装置）100は、AF検出用の検出光L（L1、L2）を基板Pの表面（被検面）Sに投射する送光系8と、基板Pの表面Sで反射した検出光Lの反射光を受光する受光系9とを備えている。図1に示すように、送光系8は、基板Pの表面Sに対して第1の検出光L1及び第2の検出光L2の2つの検出光を異なる入射角で斜め方向から基板Pの表面Sに投射する。送光系8からの検出光L1、L2のそれぞれは、光透過部材としての投影光学系PLの一部（一部の光学素子）、及び空間56に満たされている液体50を介して基板Pの表面Sに投射される。ここで、検出光L1、L2を投影光学系PLの一部を介して基板Pの表面Sに投射するのは、以下のような理由による。すなわち、空間56に液体50を安定して配置するためには、液体50の表面張力を維持できるように距離dは所定量（例えば2～3mm程度）に設定される必要がある。し

かし、このような距離 $d$ では送光系8からの検出光 $L1$ 、 $L2$ を基板 $P$ の表面 $S$ に斜入射方式で直接投射することは困難であり、一方、直接投射しようとして距離 $d$ を大きくすると空間56に液体50が安定して配置されない。本発明では、検出光 $L1$ 、 $L2$ を投影光学系 $PL$ の一部を介して基板 $P$ の表面 $S$ に投射するようにしたので、空間56に液体50を安定して配置するための所望の距離 $d$ を維持しつつ、検出光 $L1$ 、 $L2$ を基板 $P$ の表面 $S$ に投射することができる。この結果、投影光学系 $PL$ の先端面7と基板 $P$ の表面 $S$ との距離 $d$ （ワーキングディスタンス）の設定の自由度を増すことができる。更に、基板 $P$ の表面 $S$ に対する検出光 $L1$ 、 $L2$ の入射角を、投影光学系 $PL$ の位置に拘束されことなく、自由に変更することも可能となる。

【0031】

AF検出装置100は、基板 $P$ の表面 $S$ での反射光から得られる受光系9の検出信号に基づいて、投影光学系 $PL$ 及び液体50を介して形成される像面（結像面）に対する基板 $P$ 表面の $Z$ 軸方向における高さ位置（フォーカス位置）を求める。また、基板 $P$ 表面における複数の各点での各フォーカス位置を求めることにより、AF検出装置100は基板 $P$ の傾斜方向の姿勢を求めることもできる。AF検出装置100の検出結果は制御装置CONTに出力され、制御装置CONTはAF検出装置100の検出結果に基づいて、投影光学系 $PL$ の結像面と基板 $P$ 表面との位置関係を調整し、基板 $P$ 表面を投影光学系 $PL$ の焦点深度内に合わせ込む焦点合わせ動作を行う。

【0032】

図2はAF検出装置100の第1実施形態を示す構成図である。なお、図2ではAF検出装置100以外の構成要素についての図示を一部省略している。図2において、AF検出装置100の送光系8は、基板 $P$ の表面 $S$ に対して第1の入射角 $\theta_1$ で第1の検出光 $L1$ を投射する第1送光系8Aと、基板 $P$ の表面に対して第1の入射角 $\theta_1$ とは異なる第2の入射角 $\theta_2$ で第2の検出光 $L2$ を投射する第2送光系8Bとを備えている。また、AF検出装置100の受光系9は、第1送光系8Aに対応して設けられ、基板 $P$ の表面 $S$ で反射した第1の検出光 $L1$ の反射光を受光する第1受光系9Aと、第2送光系8Bに対応して設けられ、基板 $P$ の表面 $S$ で反射した第2の検出光 $L2$ の反射光を受光する第2受光系9Bとを備えている。

【0033】

第1送光系8Aは、基板 $P$ のフォトリソットに対して非感光性の光束（波長400nm～900nm程度）を射出するAF用光源10と、光源10から射出された光束をスリット光に整形するスリット状の開口部を有する送光スリット11と、非点収差補正用シリンドリカルレンズ12と、リレーレンズ13と、光路折り曲げミラー14と、収差補正用平面板15と、対物レンズ16とを備えている。送光スリット11で整形されたスリット光は第1の検出光 $L1$ として、シリンドリカルレンズ12、リレーレンズ13、光路折り曲げミラー14、収差補正用平面板15、及び対物レンズ16を介して投影光学系 $PL$ に入射する。なお、鏡筒PKは開口部を有しており、スリット光はこの開口部を介して投影光学系 $PL$ に入射する。投影光学系 $PL$ に入射した第1の検出光 $L1$ は液体50を介して基板 $P$ の表面 $S$ に第1の入射角 $\theta_1$ で投射される。

【0034】

基板 $P$ の表面 $S$ で反射した第1の検出光 $L1$ の反射光 $L1r$ は液体50及び投影光学系 $PL$ の一部を介して第1受光系9Aに受光される。ここで、鏡筒PKは開口部を有しており、反射光 $L1r$ はこの開口部を介して第1受光系9Aに受光される。第1受光系9Aは、投影光学系 $PL$ を介した反射光 $L1r$ が入射される対物レンズ17と、収差補正用平面板18と、所定の周期で振動する振動ミラー19と、リレーレンズ20と、非点収差補正用シリンドリカルレンズ21と、スリット状の開口部を有する受光スリット22と、例えばシリコン・フォト・ダイオードからなる受光センサ23とを備えている。第1の検出光 $L1$ の基板 $P$ の表面 $S$ での反射光 $L1r$ は、対物レンズ17、収差補正用平面板18、振動ミラー19、リレーレンズ20、シリンドリカルレンズ21、及び受光スリット22を介して受光センサ23に受光される。振動ミラー19は所定の周期で矢印 $y$ で示すように

$\theta Y$ 方向に振動する。この振動ミラー19の振動に伴って、受光スリット22に形成されるスリットパターンの像(送光スリット11で整形され基板Pの表面Sで反射したスリット状の反射光L1r)も振動する。このスリットパターンの像の振動に伴って、受光スリット22の開口部を通過する光の光量に変化する。受光スリット22の開口部を通過した光は受光センサ23に達する。ここで、受光スリット22の開口部の位置は、被検面である基板Pの表面Sと投影光学系PLの結像面とが一致しているときに、受光スリット22の開口部の中心がスリットパターンの像の振動中心に一致するように設けられている。したがって、受光センサ23で受光されるスリットパターンの像が一定周期で検出されれば投影光学系PLの結像面と基板Pの表面Sとが合致していることになる。一方、投影光学系PLの結像面と基板Pの表面Sとが合致していない場合には、第1の検出光L1に基づく反射光L1rは第1受光系9Aの光軸と垂直方向にずれ、受光スリット22の開口部の中心に対してスリットパターンの像の振動中心がずれることになるので、受光センサ23で受光されるスリットパターンの像は一定周期で検出されない。受光センサ23の検出結果は制御装置CONTに出力され、制御装置CONTは、受光センサ23の受光結果に基づいて基板Pの表面Sのフォーカス位置を求める。

【0035】

第2送光系8Bは、後述する本発明に従うフォーカス位置の調整方法または温度測定法(屈折率変化測定法)に基づいて第1送光系8Aに追加して設けられているが、第2の検出光L2の基板Pの表面Sに対する入射角を $\theta_2$ に設定している点以外は、第1送光系8Aと同等の構成を有しているため、その説明を省略する。同様に、第2の検出光L2の基板P表面での反射光L2rを受光する第2受光系9Bも第1受光系9Aと同等の構成を有しているためその説明を省略する。ここで、第1送光系8A及び第2送光系8Bのそれぞれで投射される検出光L1、L2のそれぞれは同じ波長を有する。なお、投影光学系PLの先端面7と基板Pの表面Sとの距離が確保できる場合には、AF検出装置100の検出光を、投影光学系PLの一部を介さずに、基板P表面に投射するようにしてもよい。

【0036】

次に、上述したAF検出装置100を用いて基板Pの表面Sの面位置情報を検出する方法について説明する。

【0037】

図3は、第1、第2の検出光L1、L2が投射されている基板Pの表面S近傍の拡大図である。制御装置CONTは、第1、第2送光系8A、8Bのそれぞれから第1、第2の検出光L1、L2を基板Pの表面Sに対して同時に投射する。第1の検出光L1は液体50を介して入射角 $\theta_1$ で基板Pの表面Sに投射され、第2の検出光L2は液体50を介して入射角 $\theta_2$ で基板Pの表面Sに投射される。第1、第2の検出光L1、L2に基づく基板Pの表面Sでの反射光L1r、L2rのそれぞれは、第1、第2受光系9A、9Bに受光される。このとき、液体50は所定の温度 $T_1$ に設定されており、このときの液体50の屈折率は $n$ である。また、このときの第1、第2の検出光L1、L2のそれぞれは基板Pの表面S上において同じ位置に投射される。したがって、液体50に屈折率変化(温度変化)がない状態では、基板PがZ軸方向に移動した場合、反射光L1rの受光系の光軸と垂直な方向のずれ量と反射光L2rの受光系の光軸と垂直な方向のずれ量とは同じである。

【0038】

基板PがZ軸方向に移動せずに、液体50の温度が $T_1$ から $T_2$ に変化し、液体50の屈折率 $n$ が $\Delta n$ だけ変化した場合について考える。温度変化により、第1、第2送光系8A、8Bからの第1、第2の検出光L1、L2は、投影光学系PLから液体50への界面での屈折角を変化させる。この屈折角の変化に伴って、第1、第2の検出光L1、L2の光路が符号L1'、L2'に示すように変動し、これにより第1の検出光L1の基板Pの表面Sに対する入射角が $\theta_1$ から $\theta_1'$ に変化し、第2の検出光L2の基板Pの表面Sに対する入射角が $\theta_2$ から $\theta_2'$ に変化する。すると、第1の検出光L1の反射光L1rの光路は受光系9Aの光軸と垂直な方向に距離D1ずれて反射光L1r'となる。同様に、

第2の検出光L 2の反射光L 2 rの光路は受光系9 Bの光軸と垂直な方向に距離D 2ずれて反射光L 2 r' となる。

【0039】

ここで、液体の厚さがdであり、温度変化に伴って液体5 0の屈折率がnから $\Delta n$ だけ変化した場合を考える。この場合、検出光の基板表面への入射角が変化し、その変化量 $\Delta \theta$ は、

$$\Delta \theta = \arcsin [n / (n + \Delta n)] \cdot \sin \theta \quad \cdots (3)$$

である。基板Pの表面SのZ軸方向への移動がないとすると、基板Pの表面のフォーカス位置の検出誤差量 $\Delta d$ は、

$$\Delta d = d \cdot [\tan (\theta + \Delta \theta) - \tan \theta] / (2 \tan \theta) \quad \cdots (4)$$

となる。すなわち、検出誤差量 $\Delta d$ は、液体の屈折率変化前における検出光Lに基づき検出した基板P表面のフォーカス位置と、液体の屈折率変化後における検出光L'に基づき検出した基板P表面のフォーカス位置との誤差である。

【0040】

ここで、式(3)から分るように、 $\Delta \theta$ は $\theta$ の値に依存する。 $\theta_1 \neq \theta_2$ であるので、第1の検出光L 1の入射角の変化量 $\Delta \theta_1 (= \theta_1' - \theta_1)$ と、第2の検出光L 2の入射角の変化量 $\Delta \theta_2 (= \theta_2' - \theta_2)$ とは異なる値になることが分る。それゆえ、第1の検出光L 1に基づくフォーカス位置の検出誤差量 $\Delta d_1$ と、第2の検出光L 2に基づくフォーカス位置の検出誤差量 $\Delta d_2$ は異なる値を示す。

【0041】

図4は、基板Pの表面Sに対する検出光Lの入射角 $\theta$ と、液体の温度変化に伴って生じる基板P表面のフォーカス位置の検出誤差量 $\Delta d$ との関係の一例を示すものである。図4には、液体5 0が純水(水)であり、投影光学系P Lのワーキングディスタンスに相当する水の厚さdが1 mmである場合において、温度が0. 0 1℃変化した場合の検出光Lの入射角 $\theta$ とフォーカス検出誤差量 $\Delta d$ との関係を示している。

【0042】

例えば、第1の検出光L 1の入射角 $\theta_1$ が8 0度、第2の検出光L 2の入射角 $\theta_2$ が8 5度に設定されている場合、液体5 0としての純水の温度が $T_1$ から0. 0 1℃変化して $T_2$ になった場合、図4より、第1の検出光L 1に基づくフォーカス位置の検出誤差量 $\Delta d_1$ は約2 0 nmであり、第2の検出光L 2に基づくフォーカス位置の検出誤差量 $\Delta d_2$ は約8 0 nmである。すなわち、図4の例によれば、厚さ1 mmの液体(水)5 0の温度が0. 0 1℃変化した場合、2つの検出光L 1、L 2に基づくフォーカス位置の検出誤差量 $\Delta d_1$ 、 $\Delta d_2$ には6 0 nmの差が生じている。

【0043】

上述の式(3)、(4)から明らかなように、検出光に基づくフォーカス位置の検出誤差量 $\Delta d$ は、液体の温度変化による屈折率の変化にほぼ比例する。したがって、第1の検出光L 1に基づくフォーカス位置の検出誤差量 $\Delta d_1$ と、第2の検出光L 2に基づくフォーカス位置の検出誤差量 $\Delta d_2$ との差( $\Delta d_1 - \Delta d_2$ )も液体の温度変化による屈折率変化にほぼ比例する。例えば、図4の関係において、液体温度の0. 0 1℃の変化によって液体の屈折率が $\Delta n$ 変化したとすると、ある温度変化における検出誤差量の差( $\Delta d_1 - \Delta d_2$ )が3 0 nm( $= 6 0 \text{ nm} / 2$ )の場合には、その温度変化により起こる液体の屈折率の変化は $\Delta n / 2$ となる。

【0044】

すなわち、第1の検出光L 1により検出される基板P表面のフォーカス位置 $Z_1$ と、第2の検出光L 2により検出される基板P表面のフォーカス位置 $Z_2$ との差( $Z_1 - Z_2$ )は、基板P表面のほぼ同じ位置を検出しているため、液体の温度変化(屈折率変化)がなければ変化しないが、液体の温度変化により屈折率が変わると、そのフォーカス位置の検出差( $Z_1 - Z_2$ )が屈折率変化に比例して変化する。逆に言えば、そのフォーカス位置の検出差( $Z_1 - Z_2$ )から液体の屈折率変化量を検出することができるのである。本実施形態において、制御装置CONTは、予め実験やシミュレーションによって求められ

た、そのフォーカス位置の検出差 ( $Z_1 - Z_2$ ) と屈折率変化量との関係を記憶しており、AF検出装置100を使って検出されたフォーカス位置 $Z_1$ 、 $Z_2$ に基づいて屈折率の変化量を求めることができる。

【0045】

なお、液体の温度変化と屈折率変化とは比例関係にあるので、そのフォーカス位置の検出差 ( $Z_1 - Z_2$ ) が液体の温度変化に比例して変化する。したがって、そのフォーカス位置の検出差 ( $Z_1 - Z_2$ ) と屈折率変化量との関係、あるいは液体の温度変化量と液体の屈折率変化量との関係も合わせて制御装置CONTに記憶しておく、AF検出装置100を使って検出されたフォーカス位置 $Z_1$ 、 $Z_2$ に基づいて液体温度の変化量も求めることができる。

【0046】

次に、図5のフローチャート図を参照しながら基板P表面の検出手順について説明する。なお、AF検出装置100は、初期状態において、検出光L1に基づいて検出されるフォーカス位置 $Z_1$ と、検出光L2に基づいて検出されるフォーカス位置 $Z_2$ とは同一になるように調整されている。また、フォーカス位置 $Z_1$ 、 $Z_2$ はそれぞれ像面に対するずれとして検出される。また、説明を簡単にするために、図5の説明では、基板P表面のZ軸方向の位置が変化しない場合について説明する。

【0047】

AF検出装置100は、制御装置CONTの指令に基づき、基板P表面に向けて第1の検出光L1と第2の検出光L2とを投射するとともに、検出光L1、L2に対応する基板P表面からの反射光L1r、L2rを受光センサ23でそれぞれ受光し、第1の検出光L1に基づき基板P表面のフォーカス位置 $Z_1$ と、第2の検出光L2に基づき基板P表面のフォーカス位置 $Z_2$ とをそれぞれ検出する(ステップS1)。

【0048】

制御装置CONTは、検出されたフォーカス位置 $Z_1$ と $Z_2$ との差 ( $Z_1 - Z_2$ ) を求め、予め記憶されているフォーカス位置の検出差 ( $Z_1 - Z_2$ ) と液体50の屈折率変化量 $\Delta n$ との関係情報に基づいて、液体50の屈折率変化量 $\Delta n$ を求める(ステップS2)。

【0049】

さらに制御装置CONTは、ステップS2で求めた屈折率変化量 $\Delta n$ に基づいて、ステップS1で求めた第1の検出光L1によるフォーカス位置 $Z_1$ を補正する。具体的には、予め記憶している上記式(3)、(4)を使って、ステップS2で求めた屈折率変化量 $\Delta n$ によって生じる入射角変化量 $\Delta \theta_1$ を求め、その $\Delta \theta_1$ に基づいて第1の検出光L1によるフォーカス位置の検出誤差量 $\Delta d_1$ を求める。そして、その検出誤差量 $\Delta d_1$ に基づいて、第1の検出光L1を用いて検出された基板P表面のフォーカス位置 $Z_1$ を補正し、基板P表面の実際のフォーカス位置(面位置情報)を求める(ステップS3)。

【0050】

そして、制御装置CONTは、補正した基板P表面の面位置情報に基づいて、この補正により求めた基板Pの表面と像面とが合致するように、基板ステージPSTを駆動して像面と基板Pの表面Sとの位置関係を調整する(ステップS4)。

【0051】

なお、ここでは、液体50の厚さdが1mmである場合について説明したが、制御装置CONTには、複数の厚さdに対応した前記関係が予め記憶されている。また、ここでは液体50は純水であるが、用いる液体に応じた前記関係が予め記憶されている。また、第1の検出光L1を使って検出されたフォーカス位置 $Z_1$ ではなく、第2の検出光L2を使って検出されたフォーカス位置 $Z_2$ を補正して使ってもよい。ただし、入射角度が大きい方が検出感度や検出分解能が高いので、第2の検出光L2をメインの検出光とし、第1の検出光L1を補正用の検出光として用いるのが望ましい。

【0052】

ところで、精度良く屈折率情報を求めるために、入射角 $\theta_1$ と入射角 $\theta_2$ との差は可能

な限り大きいことが望ましい。一方、基板Pの表面Sに対する入射角が小さくなると、基板PのZ軸方向における位置検出精度が低下する。したがって、検出光L1、L2の基板P表面に対する入射角はそれぞれ $30^{\circ} \leq \theta < 90^{\circ}$ の条件を満たしていることが好ましい。そして、基板Pの表面Sで十分な光量を有する反射光を得られるように、更に好ましくは、検出光L1、L2の基板P表面に対する入射角はそれぞれ $70^{\circ} \leq \theta < 90^{\circ}$ の条件を満たしていることが好ましい。つまり、図4のグラフに示されるように、入射角が $70^{\circ}$ 以上であれば、入射角の変動に対して誤差量が大きく変化するため、液体50の温度変化（屈折率変化）を敏感に検出することができる。

さらに、本実施形態のように、液体（水）を介して、基板P表面の面位置を検出する場合には、検出光L1、L2に対する液体（水）の屈折率と基板P表面の感光材（レジスト）の屈折率との差が小さくなり、照射された検出光が感光材の表面で十分に反射せず、受光センサで受光される光の光量（光強度）が低下する虞があるばかりでなく、照射された検出光の一部が感光材を通過して感光材の下地面まで到達し、その下地面からの反射光がノイズ成分として受光センサで受光されてしまう可能性がある。したがって、検出光L1、L2に対する液体（水）の屈折率と基板P表面の感光材（レジスト）の屈折率との差、感光材表面での反射率、感光材の下地面からのノイズ光の影響などを考慮すると、検出光L1、L2の入射角はそれぞれ $84^{\circ} < \theta < 90^{\circ}$ が望ましい。

【0053】

こうして、像面と基板Pの表面Sとを合致させたら、制御装置CONTはマスクMを露光光ELで照明し、マスクMのパターンを投影光学系PLを介して基板Pに転写する。

【0054】

露光処理を行うに際し、温度変化により液体50の屈折率変動すると、マスクMのパターンを投影光学系PL及び液体50を介して基板Pに転写する際、基板Pに転写されるパターンの像に誤差が生じることが考えられる。例えば、液体50の屈折率変化に伴い、屈折率変化前に比べて基板Pに転写されるパターン像のスケーリングなどの各種収差が変動したり、あるいは像面位置が変動する場合が考えられる。制御装置CONTは、前記AF検出装置100を使って求めた液体50の屈折率変化量（または温度変化量）に基づいて、基板Pに転写されるパターンの像に誤差が生じないように、結像特性調整装置PLCを用いてパターン像の像調整を行う。例えば、液体50の屈折率変化に伴って、投影光学系PLの像面位置がZ軸方向にシフトした場合には、投影光学系PL内の一部の光学素子を駆動したり、マスクを動かしたり、露光光ELの波長を調整することで、投影光学系PL及び液体50を介したパターン像の像面と、基板Pの表面Sとを合致させる。あるいは、液体50の屈折率変化（温度変化）に伴って、パターンの像のスケーリングやディストーションなどの各種収差が変動した場合にも、同様に、マスクMをZ軸方向あるいは傾斜方向へ移動したり、投影光学系PL内の一部の光学素子を駆動したり、あるいは露光光ELの波長を調整することによって、液体50の屈折率変化（温度変化）によってパターンの像に誤差が生じないように像調整を行う。

【0055】

以上説明したように、検出光の光路上の屈折率が変化しても、2つの検出光L1、L2を異なる入射角 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ で基板Pの表面Sに投射することで、これら各検出光L1、L2に基づく面位置情報の測定誤差を用いて検出光の光路上に存在する液体の屈折率情報を求めることができる。したがって、求めた屈折率情報により検出した面位置情報を補正することできるので、基板Pの表面Sの面位置情報を精度良く検出することができる。

なお、上述の実施形態においては、2つの検出光L1、L2の入射角 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ が $80^{\circ}$ を超えているため、説明を簡単にするために、液体50に屈折率変化（温度変化）がない状態で基板PがZ軸方向に移動した場合、反射光L1rの受光系の光軸と垂直な方向のずれ量と反射光L2rの受光系の光軸と垂直な方向のずれ量とは同じであるとして説明したが、厳密には、2つの検出光L1、L2の入射角 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ が異なっているので、液体50に屈折率変化（温度変化）がない状態で、基板PがZ軸方向に移動した場合、反射光L1rの受光系の光軸と垂直な方向のずれ量と反射光L2rの受光系の光軸と垂直な方向

のずれ量とが異なる。そのような場合には、基板PのZ方向へのずれ量に伴う反射光L1rの受光系の光軸と垂直な方向のずれ量と反射光L2rの受光系の光軸と垂直な方向のずれ量との関係を予め求めておき、実際の両反射光に基づく測定結果が、予め求めておいた関係と異なっていた場合に、液体50の温度変化（屈折率変化）が起きたと判断すればよい。

【0056】

上述したように、本実施形態における液体50は純水を用いた。純水は、半導体製造工場等で容易に大量に入手できるとともに、基板P上のフォトリソストや光学素子（レンズ）等に対する悪影響がない利点がある。また、純水は環境に対する悪影響がないとともに、不純物の含有量が極めて低いため、基板Pの表面、及び投影光学系PLの先端面に設けられている光学素子の表面を洗浄する作用も期待できる。

【0057】

そして、波長が193nm程度の露光光ELに対する純水（水）の屈折率nは1.44～1.47程度と言われておりであるため、露光光ELの光源としてArFエキシマレーザー光（波長193nm）を用いた場合、基板P上では $1/n$ 、すなわち131～134nm程度に短波長化されて高い解像度が得られる。更に、焦点深度は空气中に比べて約n倍、すなわち1.44～1.47倍程度に拡大されるため、空气中で使用する場合と同程度の焦点深度が確保できればよい場合には、投影光学系PLの開口数をより増加させることができ、この点でも解像度が向上する。

【0058】

本実施形態では、投影光学系PLの先端面7には、上述したように、露光光ELを透過可能な平行平板が設けられている。この平行平板は投影光学系PLの先端面に着脱（交換）自在に取り付けられている。液体50と接触する光学素子を、レンズより安価な平行平板とすることにより、露光装置EXの運搬、組立、調整時等において投影光学系PLの透過率、基板P上での露光光ELの照度、及び照度分布の均一性を低下させる物質（例えばシリコン系有機物等）がその平行平板に付着しても、液体50を供給する直前にその平行平板を交換するだけでよく、液体50と接触する光学素子をレンズとする場合に比べてその交換コストが低くなるという利点がある。すなわち、露光光ELの照射によりレジストから発生する飛散粒子、または液体50中の不純物の付着などに起因して液体50に接触する光学素子の表面が汚れるため、その光学素子を定期的に交換する必要があるが、この光学素子を安価な平行平板とすることにより、レンズに比べて交換部品のコストが低く、且つ交換に要する時間を短くすることができ、メンテナンスコスト（ランニングコスト）の上昇やスループットの低下を抑えることができる。もちろん、投影光学系PLの先端面に取り付ける光学素子がレンズであってもよい。また、投影光学系PLの先端面に取り付ける光学素子としては、投影光学系PLの光学特性、例えば収差（球面収差、コマ収差等）の調整に用いる光学プレートであってもよい。また、投影光学系PLの先端部において、光学素子（平行平板やレンズ）のみを液体50に接触させ、鏡筒PKを接触させない構成とすることにより、金属からなる鏡筒PKの腐蝕等が防止される。

【0059】

また、液体50の流れによって生じる投影光学系PLの先端の光学素子と基板Pとの間の圧力が大きい場合には、その光学素子を交換可能とするのではなく、その圧力によって光学素子が動かないように堅固に固定してもよい。

【0060】

なお、本実施形態では、2つの検出光L1、L2を異なる入射角 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ で基板Pの表面Sに投射する例について説明したが、互いに異なる入射角で投射される検出光の数は2つに限らず3つ以上の任意の複数の光束を投射することができる。また、投影光学系の一部に検出光L1、L2を通過させる際には、投影光学系PLを構成する複数の光学素子のうち最も基板Pに近い1つの光学素子のみを通過させてもよいし、複数の光学素子を通過させるようにしてもよい。

【0061】

なお、本実施形態では、投影光学系P Lの先端面7と基板Pの表面Sとの間は液体5 0で満たされている構成であるが、例えば基板Pの表面Sに平行平板からなるカバーガラスを取り付けた状態で液体5 0を満たす構成であってもよい。この場合、送光系8からの検出光L 1、L 2は、投影光学系P Lの一部及び液体5 0の他に、光透過部材としてのカバーガラスを介して基板Pの表面Sに投射されることになる。

【0062】

なお、本実施形態では、投影光学系P Lの先端面7と基板Pの表面Sとの間の空間5 6に液体5 0が満たされている場合を例にして説明したが、空間5 6に液体5 0がなく、例えば空間5 6は空気等の気体で満たされている場合についても、本発明を適用することはもちろん可能である。この場合、複数の異なる入射角で基板Pの表面Sに投射された検出光に基づき、空間5 6の気体の屈折率情報を検出することができる。そして、この検出光に基づき、空間5 6の気体の温度変化を検出することが可能である。また、空間5 6を含む検出光の光路上には、液体（水）5 0や空気以外の物質が存在していてもよい。例えば、光を透過可能な光学素子（ガラス、レンズ）や水以外の例えばフッ素系（フッ素系の液体）や過フッ化ポリエーテル（PFPE）オイル等の液体が存在していてもよい。特に、露光光としてF<sub>2</sub> レーザ光等の真空紫外光を用いる場合には、液体として前記真空紫外光を透過可能なフッ素系オイルを用いることが好適である。そして、この場合においても、基板Pの表面Sに投射した検出光に基づき、光路上に存在する例えば光学素子やフッ素系オイルの温度変化を含む屈折率情報を検出することができる。本発明の原理を用いると、物質の温度変化を屈折率変化を通じて求めることができるので、本発明は、光透過性のある気体、液体などの流体及び固体の温度変化測定方法に使用することができる。特に、通常の温度センサで温度測定が困難な微小なエリア、高温雰囲気、高圧雰囲気、腐食性の高い雰囲気などで本発明の方法は有効となる。

【0063】

また、本実施形態では、検出光L 1、L 2は投影光学系P Lを通過が、この投影光学系P Lの屈折率も温度変化に伴ってわずかに変化する。この場合も、複数の異なる入射角の検出光のそれぞれに基づく誤差量を求めることで、投影光学系P Lの温度変化（屈折率変化）を求めることができる。

【0064】

次に、図6を参照しながら、AF検出装置1 0 0の第2実施形態について説明する。ここで、以下の説明において、図2を用いて説明した第1実施形態と同一又は同等の構成部分については同一の符号を付し、その説明を簡略もしくは省略する。

【0065】

図6に示すAF検出装置1 0 0において、送光系8及び受光系9はそれぞれ1つずつ設けられている。そして、本実施形態の特徴部分は、送光系8に波長選択フィルタ2 4が設けられている点である。送光系8は、光源1 0と、光源1 0から射出される光束の光路下流側に設けられた波長選択フィルタ2 4と、送光スリット1 1と、非点収差補正用シリンドリカルレンズ1 2と、リレーレンズ1 3と、光路折り曲げミラー1 4と、収差補正用平面板1 5と、対物レンズ1 6とを備えている。受光系9は、投影光学系P Lを介した反射光が入射される対物レンズ1 7と、収差補正用平面板1 8と、所定の周期で振動する振動ミラー1 9と、リレーレンズ2 0と、非点収差補正用シリンドリカルレンズ2 1と、ダイクロックミラー2 6と、スリット状の開口部を有する受光スリット2 2 a、2 2 bと、例えばシリコン・フォト・ダイオードからなる受光センサ2 3 a、2 3 bとを備えている。

【0066】

波長選択フィルタ2 4は、液体5 0及び基板Pに投射する検出光の波長を設定することができる。すなわち、送光系8は、波長選択フィルタ2 4により、波長の異なる複数の検出光を基板Pの表面Sに対して投射することができる。例えば、第1の波長を有する第1の検出光L 1と、第1の波長とは異なる第2の波長を有する第2の検出光L 2とでは、投影光学系P Lから液体5 0に入射する際の屈折角が異なる。したがって、互いに異なる波



長を有する第1、第2の検出光L1、L2のそれぞれの液体50を通過して基板Pに投射される際の入射角は互いに異なる。

【0067】

例えば、液体50を水とし、第1の検出光L1としてC線（波長656.3nm）が投射され、第2の検出光L2としてd線（波長587.6nm）が投射される場合について考える。d線の基板Pの表面Sに対する入射角が80度である場合、d線とC線との基板Pの表面Sに対する入射角の差は0.14度となる。

【0068】

基板P表面で反射した反射光L1rとL2rとはそれぞれ受光系9に入射する。そして、受光系9内のダイクロイックミラー26を透過した反射光L1rは受光センサ23aに入射し、ダイクロイックミラー26で反射した反射光L2rは受光センサ23bに入射する。受光センサ23a、23bの検出結果はそれぞれ制御装置CONTに出力され、第1実施形態同様に、液体50の屈折率情報を求めることができる。なお、受光系9内にダイクロイックミラー26がなく、受光センサ23が1つしか配置されていない場合には、波長選択フィルタ24により第1の波長の検出光L1と第2の波長の検出光L2とをそれぞれ交互に基板P表面に入射させるようにすればよい。

【0069】

次に、図7を参照しながらAF検出装置100の第3実施形態について説明する。図7に示すAF検出装置100において、送光系8及び受光系9はそれぞれ1つずつ設けられている。そして、本実施形態の特徴部分は、送光系8に瞳分割板25が設けられている点である。送光系8は、光源10と、送光スリット11と、非点収差補正用シリンドリカルレンズ12と、リレーレンズ13と、光路折り曲げミラー14と、収差補正用平板15と、対物レンズ16と、対物レンズ16の光路下流側近傍に設けられた瞳分割板25とを備えている。受光系9は、投影光学系PLを介した反射光が入射される対物レンズ17と、収差補正用平板18と、所定の周期で振動する振動ミラー19と、リレーレンズ20と、非点収差補正用シリンドリカルレンズ21と、スリット状の開口部を有する受光スリット22と、例えばシリコン・フォト・ダイオードからなる受光センサ23とを備えている。

【0070】

瞳分割板25は所定の開口部25Aを有するものであって、瞳分割板25に照射される光束の一部を開口部25Aを介して通過させる。すなわち、図8(a)、(b)に簡易的に示すように、瞳分割板25を送光系の光軸と垂直方向に移動して光束を瞳分割することによって、基板Pの表面Sに対する検出光の入射角を互いに異なる入射角 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ に設定し、それぞれに対応する反射光L1rとL2rとを受光センサ23で検出することによって、第1実施形態同様に、液体50の屈折率情報を求めることができる。また、図8(a)と図8(b)との状態を交互に繰り返すことによって、ほぼリアルタイムに液体50の屈折率情報を求めることができる。第3実施形態においても、瞳分割板25を配置することによって、第2実施形態同様に、1つの送光系8及び受光系9であっても、複数の検出光を異なる入射角で基板Pに投射することができる。なお、瞳分割板を受光系9の基板Pと対物レンズ17との間に設けて、迷光などの外乱を防止するようにしてもよい。

【0071】

なお、上述の実施形態においては、AF検出装置100を用いて光学的に検出された液体50の温度情報（屈折率情報）に基づいて、パターンの像の最適像面と基板Pの表面Sとの関係を調整したり、基板P上に投影されるパターン像の調整を行ったりしているが、その検出された温度情報に基づいて、液体供給装置1から供給される液体の温度を制御するようにしてもよい。これにより投影光学系PLと基板Pとの間の液体50の温度（屈折率）最適化することが可能となる。

【0072】

また、上述の実施形態においては、被検面として基板Pの表面に検出光を投射するようにしているが、基板Pの表面に限らず、例えば基板ステージPST上に形成されている基

準平面やセンサの上面を被検面として検出光を投射するようにしてもよい。

【0073】

また、上述の実施形態においては、マスクMのパターンの像が投影される投影領域の中央付近に検出光を投射するようにしているが、投影領域の外側に検出光を投射するようにしてもよい。

【0074】

また、上述の実施形態においては、AF検出装置100は、2つの検出光を被検面上に投射しているが、2つに限らず、3つ以上でよいことは言うまでもない。この場合は、複数の屈折率変化情報（温度変化情報）を得ることができるので、これらの平均値などを算出することで、より正確な屈折率変化情報（温度変化情報）を得ることが可能となる。

【0075】

なお、上述の実施形態の基板Pとしては、半導体デバイス製造用の半導体ウエハのみならず、ディスプレイデバイス用のガラス基板や、薄膜磁気ヘッド用のセラミックウエハ、あるいは露光装置で用いられるマスクまたはレチクルの原版（合成石英、シリコンウエハ）等が適用される。

【0076】

露光装置EXとして、マスクMと基板Pとを同期移動してマスクMのパターンを走査露光するステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置（スキャニングステッパ）の他に、マスクMと基板Pとを静止した状態でマスクMのパターンを一括露光し、基板Pを順次ステップ移動させるステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置（ステッパ）にも適用することができる。また、本発明は基板P上で少なくとも2つのパターンを部分的に重ねて転写するステップ・アンド・スティッチ方式の露光装置にも適用できる。

【0077】

また、本発明は、ツインステージ型の露光装置にも適用できる。ツインステージ型の露光装置の構造及び露光動作は、例えば特開平10-163099号及び特開平10-214783号（対応米国特許6,341,007号、6,400,441号、6,549,269号及び6,590,634号）、特表2000-505958号（対応米国特許5,969,441号）あるいは米国特許6,208,407号に開示されている。

【0078】

また、上述の実施形態では、投影光学系PLと基板Pとの間に局所的に液体を満たす露光装置を採用しているが、露光対象の基板を保持したステージを液槽の中で移動させる液浸露光装置や、ステージ上に所定深さの液体槽を形成しその中に基板を保持する液浸露光装置にも本発明を適用可能である。露光対象の基板を保持したステージを液槽の中で移動させる液浸露光装置の構造及び露光動作については、例えば特開平6-124873号公報に、ステージ上に所定深さの液体槽を形成してその中に基板を保持する液浸露光装置については、例えば特開平10-303114号公報や米国特許第5,825,043号にそれぞれ開示されている。

【0079】

露光装置EXの種類としては、基板Pに半導体素子パターンを露光する半導体素子製造用の露光装置に限られず、液晶表示素子製造用又はディスプレイ製造用の露光装置や、薄膜磁気ヘッド、撮像素子（CCD）あるいはレチクル又はマスクなどを製造するための露光装置などにも広く適用できる。

【0080】

基板ステージPSTやマスクステージMSTにリニアモータを用いる場合は、エアベアリングを用いたエア浮上型およびローレンツ力またはリアクタンス力を用いた磁気浮上型のどちらを用いてもよい。また、各ステージPST、MSTは、ガイドに沿って移動するタイプでもよく、ガイドを設けないガイドレスタイプであってもよい。ステージにリニアモータを用いた例は、米国特許5,623,853及び5,528,118に開示されている。

【0081】

各ステージPST、MSTの駆動機構としては、二次元に磁石を配置した磁石ユニットと、二次元にコイルを配置した電機子ユニットとを対向させ電磁力により各ステージPST、MSTを駆動する平面モータを用いてもよい。この場合、磁石ユニットと電機子ユニットとのいずれか一方をステージPST、MSTに接続し、磁石ユニットと電機子ユニットとの他方をステージPST、MSTの移動面側に設ければよい。

【0082】

基板ステージPSTの移動により発生する反力は、投影光学系PLに伝わらないように、フレーム部材を用いて機械的に床（大地）に逃がしてもよい。この反力の処理方法は、例えば特開平8-166475号公報（米国特許5,528,118）に詳細に開示されている。

【0083】

マスクステージMSTの移動により発生する反力は、投影光学系PLに伝わらないように、フレーム部材を用いて機械的に床（大地）に逃がしてもよい。この反力の処理方法は、例えば特開平8-330224号公報（米国特許第5,874,820号）に詳細に開示されている。

【0084】

以上のように、本願実施形態の露光装置EXは、本願特許請求の範囲に挙げられた各構成要素を含む各種サブシステムを、所定の機械的精度、電気的精度、光学の精度を保つように、組み立てることで製造される。これら各種精度を確保するために、この組み立ての前後には、各種光学系については光学の精度を達成するための調整、各種機械系については機械的精度を達成するための調整、各種電気系については電気的精度を達成するための調整が行われる。各種サブシステムから露光装置への組み立て工程は、各種サブシステム相互の、機械的接続、電気回路の配線接続、気圧回路の配管接続等が含まれる。この各種サブシステムから露光装置への組み立て工程の前に、各サブシステム個々の組み立て工程があることはいうまでもない。各種サブシステムの露光装置への組み立て工程が終了したら、総合調整が行われ、露光装置全体としての各種精度が確保される。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

【0085】

半導体デバイス等のマイクロデバイスは、図9に示すように、マイクロデバイスの機能・性能設計を行うステップ201、この設計ステップに基づいたマスク（レチクル）を製作するステップ202、デバイスの基材である基板を製造するステップ203、前述した実施形態の露光装置EXによりマスクのパターンを基板に露光する露光処理ステップ204、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）205、検査ステップ206等を経て製造される。

【図面の簡単な説明】

【0086】

【図1】本発明の面位置検出装置を備えた露光装置の一実施形態を示す概略構成図である。

【図2】本発明の面位置検出装置の第1実施形態を示す概略構成図である。

【図3】検出光が投射される基板を示す要部拡大図である。

【図4】基板に対する検出光の入射角と誤差量との関係を示す図である。

【図5】本発明の面位置検出方法の一例を示すフローチャート図である。

【図6】本発明の面位置検出装置の第2実施形態を示す概略構成図である。

【図7】本発明の面位置検出装置の第3実施形態を示す概略構成図である。

【図8】腫分割板を示す模式図である。

【図9】半導体デバイスの製造工程の一例を示すフローチャート図である。

【図10】従来の課題を説明するための模式図である。

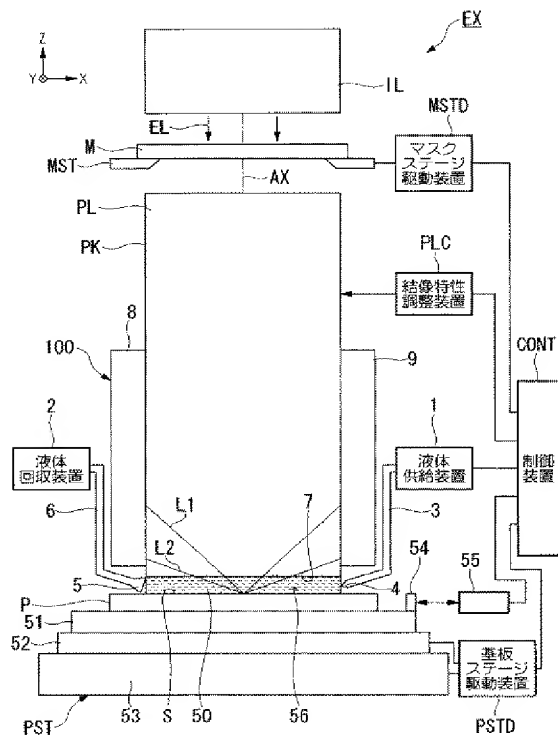
【符号の説明】

【0087】

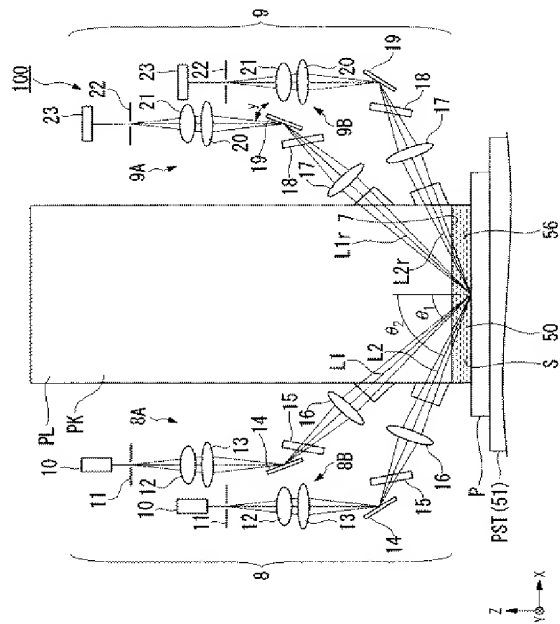
24…波長選択フィルタ、50…液体（水、光透過部材）、

100…AF検出装置（面位置検出装置）、EX…露光装置、L1…第1の検出光、  
 L2…第2の検出光、M…マスク、P…基板、PL…投影光学系（光透過部材）、  
 PLC…結像特性調整装置、S…基板の表面（被検面）、 $\theta_1$ …第1の入射角、  
 $\theta_2$ …第2の入射角

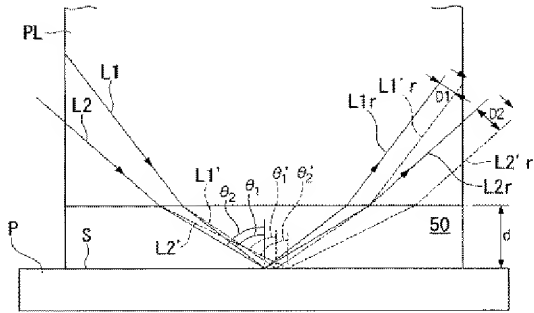
【図1】



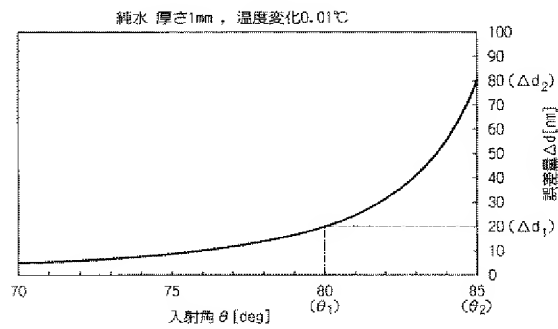
【図2】



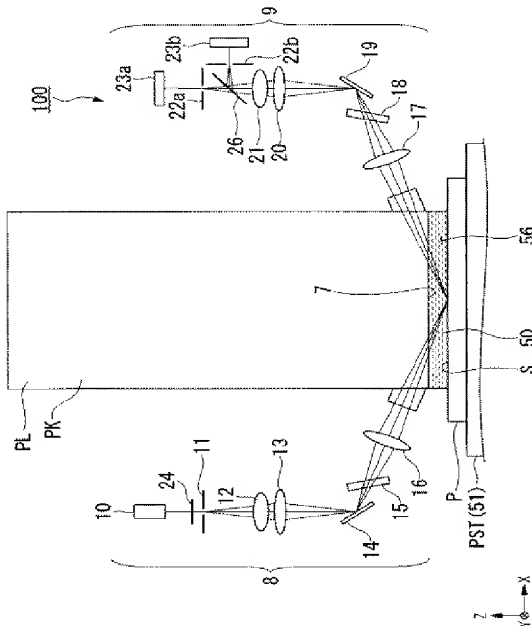
【例3】



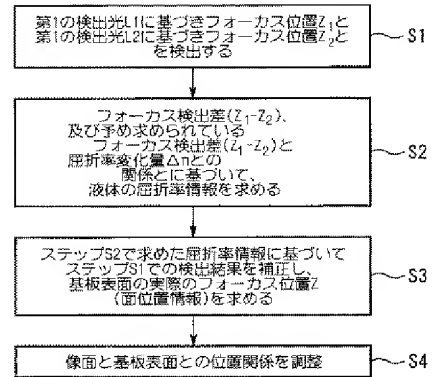
【例4】



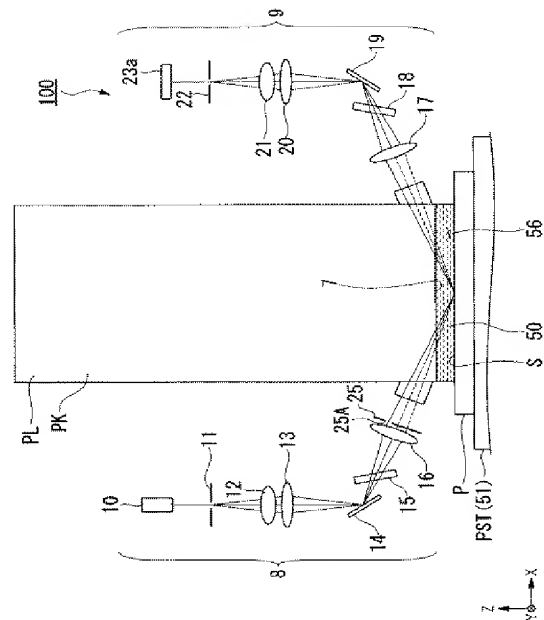
【 ㉞6 】



【例5】

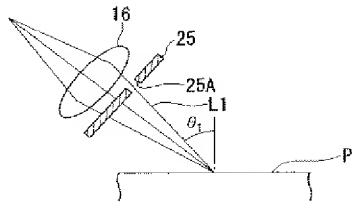


【図7】

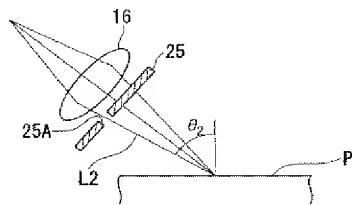


【図8】

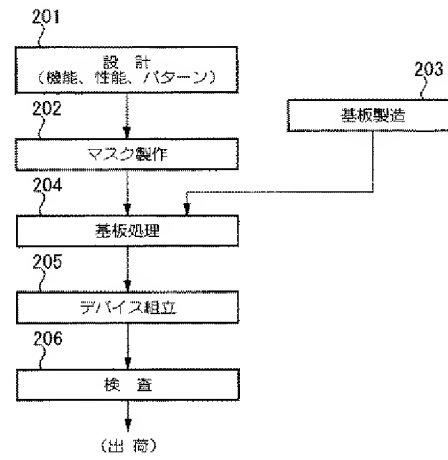
( a )



( b )

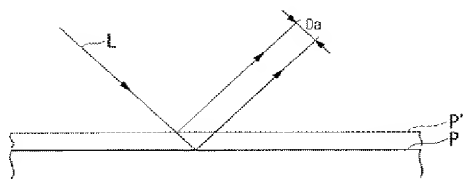


【図9】

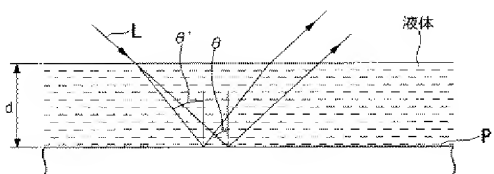


【図10】

( a )



( b )



(72)発明者 水谷 英夫

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72)発明者 馬込 伸貴

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72)発明者 大和 壮一

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

Fターム(参考) 2F065 AA01 BB01 BB02 CC20 EE08 FF10 GG05 GG22 GG23 HH12

HH14 JJ18 JJ26 LL13 LL22 LL28 PP12

5F046 BA04 BA05 CB01 CC01 CC03 CC05 DA14 DB05 DC10